

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

Applicant: Dieter Gebauer et al.

Serial No: Art Unit:

Filing Date:

Title: APPARATUS FOR NON-CONTACT THREE-DIMENSIONAL  
MEASURING OF BODIES AND METHOD FOR DETERMINING A  
SYSTEM OF COORDINATES FOR MEASURING POINT  
COORDINATES

PCT No.: PCT/DE00/01839 Filing Date: 6 June 2000

Priority: Country: Germany No.: 199 26 439.2 Filing Date: 10 June 1999

Country: Germany No.: 299 10 132.0 Filing Date: 10 June 1999

December 10, 2001

Attorney's Docket No.: KSE201

**CLAIM OF PRIORITY**

Hon. Commissioner of Patents and Trademarks

**Box PCT**

Washington, D.C. 20231

Sir:

Pursuant to Title 35, United States Code, Section 119 (1952), the undersigned hereby claims the benefit of the filing date of a prior foreign patent application forming a basis of the PCT application viz.:

Country: Germany  
Application No.: 199 26 439.2  
Date of Filing: 10 June 1999


Country: Germany  
Application No.: 299 10 132.0  
Date of Filing: 10 June 1999



In support of this claim, a certified copy of the aforementioned foreign patent application is believed to have been submitted by the World Intellectual Property Organization and should have been received by the United States Patent and Trademark Office prior to the expiration of 20 months from the first priority date of the application.

Respectfully submitted,

Dieter Gebauer et al.

By:   
\_\_\_\_\_  
Horst M. Kasper, their attorney,  
13 Forest Drive, Warren, N.J. 07059  
Tel.:(908)757-2839 Fax:(908)668-5262  
Reg.No. 28559; Docket No.: KSE201

\*%ptn:pctnat:2(KSA201PC(December 10, 2001(tm

11

**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND****PRIORITY  
DOCUMENT**SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

REC'D 14 AUG 2000

WIPO PCT

DE 00/1839

10/009862-72

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 199 26 439.2

**Anmeldetag:** 10. Juni 1999

**Anmelder/Inhaber:** MPT Präzisionsteile GmbH Mittweida, Mittweida/DE

**Bezeichnung:** Vorrichtung zur berührungslosen dreidimensionalen  
Vermessung von Körpern

**IPC:** G 01 B 11/24

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Anmeldung.

München, den 3. Juli 2000  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Nietied



5

## Beschreibung

### Vorrichtung zur berührungslosen dreidimensionalen Vermessung von Körpern

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur berührungslosen dreidimensionalen Vermessung von Körpern nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Das Triangulationsverfahren ist eines der am weitesten verbreiteten Verfahren sowohl bei der Abstands- und Längenmessung als auch für die zwei- und dreidimensionale Konturerfassung. Zur Anwendung kommt dabei ein Triangulationssensor, wobei ein Strahl einer Laserdiode durch eine Linse auf das Werkstück fokussiert wird. Dabei erzeugt dieser einen hellen Lichtfleck. Wird dieser unter einem festen Winkel mit einem Lagedetektor oder einer Kamera betrachtet, so verschiebt sich sein Abbildungsort im Bild, sofern sich der Schnittpunkt des Laserstrahls und das Werkstück relativ zum Sensor bewegen. Durch Messung dieser Verschiebung ist der Abstand des Werkstücks bestimmbar oder bei einer Bewegung senkrecht zum beleuchtenden Laserstrahl die Oberflächenkontur erfaßbar.

In der DE 44 07 518 wird eine Vorrichtung und ein Verfahren zum berührungslosen Vermessen dreidimensionaler Objekte auf der Basis der optischen Triangulation beschrieben. Der Triangulationssensor ist in einer Richtung (y-Richtung) verfahrbar und über eine vorgegebene Winkellage an einem wählbaren Fixpunkt in der x-Ebene verschwenkbar. Dazu sind zwei voneinander unabhängige Bewegungen des Triangulationssensors vorhanden. Das zu vermessende Objekt befindet sich auf einem Drehtisch. Dieser gewährleistet zum einen eine Drehbewegung und zum anderen ist dieser mittels eines weiteren Antriebes in einer senkrecht zur Bewegung des Triangulationssensors verfahrbar. Mit den Bewe-

gungen des Triangulationssensors und des Drehtisches sind die Koordinaten des Meßflecks der Strahlungsquelle bestimmt. Die Kippbewegung des Triangulationssensors führt dazu, dass Hinterschneidungen, verdeckte Stellen, Sacklöcher oder ähnliche Stellen des Objekts weitestgehend maßlich bestimmbar sind.

In der DE 40 37 383 (Verfahren zum kontinuierlichen berührungsfreien Messen von Profilen und Einrichtung zur Durchführung des Meßverfahrens) wird das Verfahren der Triangulation zur Bestimmung der Außenkontur eines sich bewegenden Profils genutzt.

Dabei wird nur der Abstand des Profils und damit dessen Kontur vom Sensor erfaßt. Die Einordnung des Meßflecks in ein Koordinatensystem ist nicht möglich.

Die Koordinatenmessung an einer Objektoberfläche erfolgt in der DE 40 26 942 (Verfahren zur berührungslosen Vermessung von Objektoberflächen) über die Aufnahme von Bildern mittels einer Kamera. Diese befindet sich an einem in drei Raumrichtungen (x-, y-Richtung, Schwenkung) verfahrbaren Meßarm eines Koordinatenmeßgeräts. Das zu vermessende Objekt ist auf einem Drehtisch angeordnet.

Der im Patentanspruch 1 angegebenen Erfindung liegt das Problem zugrunde, die geometrischen Abmessungen eines Körpers dreidimensional einfach zu messen.

Dieses Problem wird mit den im Patentanspruch 1 aufgeführten Merkmalen gelöst.

Die Vorrichtung zur berührungslosen dreidimensionalen Vermessung von Körpern zeichnet sich durch ihre besonders einfache Realisierung aus. Damit ist diese vorteilhafterweise auch an Produktionsstätten spezieller Werkstücke einsetzbar. Der einfache Aufbau ist weiterhin auch sehr ökonomisch, so dass ein

breiter Anwendungsbereich gegeben ist.

Grundlage ist ein optischer Triangulationssensor. Dabei wird der Strahl einer Laserdiode durch eine Linse auf das Werkstück fokussiert. Auf dem Werkstück entsteht ein Lichtfleck. Dieser Fleck wird mit einem Strahlungsdetektor unter einem festen Winkel aufgenommen. Wenn sich das Werkstück relativ zum Triangulationssensor bewegt, so verschiebt sich der Abbildungsort des Flecks im Bild. Durch die Messung der Verschiebung wird das Profil des Werkstücks bestimmt.

Bevor die Messungen der Werkstücke erfolgt, wird über eine erste Messung ein Koordinatensystem für eine maßliche Zuordnung der Geometrie der Werkstücke ermittelt. Dazu wird ein Körper mit maßlich bekannten Kanten oder Linien auf dem Drehtisch platziert und während einer Drehung über den Triangulationssensor ausgemessen. Die Position des Körpers auf dem Drehtisch ist beliebig. Anstelle des Körpers sind auf der Oberfläche des Drehtisches auch Linien auf- oder einbringbar.

Mit einer Bewegung des Triangulationssensors in nur einer Achse und einer Rotationsbewegung des Werkstückes ist das Werkstück durch den Triangulationssensor überstreichbar. Über eine gezielte Ansteuerung der jeweiligen Antriebe und dem Koordinatensystem ist damit eine kontinuierliche Geometrieerfassung des Werkstücks mit einer sehr hohen Meßwertrate und Präzision gegeben. Damit zeichnet sich die erfindungsgemäße Vorrichtung durch ihren minimalen Aufbau aus. Durch die geringe Anzahl der notwendigen Bewegungen in Form nur einer translatorischen des Triangulationssensors und einer rotatorischen des Drehtisches zur Bestimmung des Profils eines Körpers wird ein minimaler Meßfehler erreicht.

Die Vorrichtung ist vorteilhafterweise insbesondere für rotationssymmetrische Werkstücke geeignet.

Die Steuerung und Ermittlung der Geometrie der Werkstücke erfolgt vorteilhafterweise in einem Computer.



Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Patentansprüchen 2 bis 8 angegeben.

Mit einer Bewegung senkrecht zum beleuchtenden Laserstrahl des Triangulationssensors nach der Weiterbildung des Patentanspruchs 2 wird das Oberflächenprofil des Werkstücks erfaßt.

Über ein Dreh- oder Kugelgelenk nach der Weiterbildung des Patentanspruchs 3 ist der Winkel der auf das Werkstück auftreffenden Strahlung des Triangulationssensor veränderbar. Damit sind Erhebungen oder Vertiefungen der Werkstückoberfläche leichter oder überhaupt erst zu erfassen. Die Messung des Winkels des Triangulationssensors erlaubt die Bestimmung der Koordinatendaten der auftreffenden Strahlung.

Die Beaufschlagung von Körpern mit Oberflächen, die gegenüber der Strahlung der Strahlungsquelle ein hohes Streuverhalten in Form von Mehrfachreflexionen aufweisen, führen bei einer Bestrahlung zu Abbildungsverzerrungen auf dem Detektor und daraus resultierend zu Meßfehlern. Um diese Meßfehler weitestgehend zu vermeiden, werden zumindest die interessierenden Bereiche des Körpers nach der Weiterbildung des Patentanspruchs 4 mit Auflagekörpern bekannter Dicke versehen, deren Oberflächen gegenüber der Strahlung ein geringes Streuverhalten besitzen. Bei der Auswertung der Meßergebnisse wird die Dicke der Auflagekörper vom Meßwert abgezogen, so dass das Originalmaß des Körpers als korrigierter Meßwert vorhanden ist.

Günstige Varianten zur Ermittlung des Koordinatensystems für die Werkstücke sind nach der Weiterbildung des Patentanspruchs 5 parallel verlaufende Linien oder Körperkanten, wobei der Abstand bekannt ist. Dazu werden auf dem Drehtisch entsprechend ausgebildete Körper oder Körper mit derartig aufgebrachten Linien plazierte.

Die Ermittlung des Koordinatensystems ist nur bei Inbetriebnahme oder einem Standortwechsel notwendig. Deshalb sind die Körper zur Ermittlung des Koordinatensystems nach der Weiterbildung des Patentanspruchs 6 nur bei diesen Maßnahmen notwendig.

Günstige Varianten einer unterstützten Positionierung und Platzierung der Werkstücke auf dem Drehtisch sind nach den Weiterbildungen der Patentansprüche 7 und 8 mindestens zwei mit einem Abstand zueinander angeordnete Anschläge oder mindestens ein in den Drehtisch integrierter Magnet. Gleichzeitig dienen die Positionierhilfen dem weitestgehenden Verhindern von Änderungen in der Position der Werkstücke auf dem Drehtisch während der Bewegung dessen. Bei Werkstücken gleicher Gestalt führen die Positionierhilfen dazu, dass bei einem Werkstückwechsel annähernd die gleiche Position eingehalten wird. Das führt zu einer vereinfachten und schnelleren Messung der Geometrie, so dass z.B. bei Produktionsüberwachungen schneller auf etwaige fehlerhafte Änderungen in der Herstellungstechnologie reagiert werden kann.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird anhand der Figuren 1 bis 4 erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1 einen prinzipiellen Aufbau einer Vorrichtung zur berührungslosen dreidimensionalen Vermessung von Körpern,
- Fig. 2 eine prinzipielle Darstellung einer Vorrichtung mit zwei parallel zueinander verlaufenden Linien mit bekannten Abstand auf dem Drehtisch,
- Fig. 3 und
- Fig. 4 eine Bestimmung des Koordinatensystems durch zwei parallel verlaufende Linien oder Körperkanten mit bekannten Abstand und bekannten Winkeln und eine bekannte Verschiebung des Triangulationssensors.

Die Vorrichtung zur berührungslosen dreidimensionalen Vermessung von Körpern besteht aus einem Drehtisch 1 zur Aufnahme des Körpers und einem optischen Triangulationssensor 2 mit mindestens einer Strahlungsquelle 3, einem Strahlungsdetektor 4 und Optiken in Form einer Fokusslinse 5 und einer Abbildungslinse 6. Die Strahlungsquelle 3 sind eine Laserdiode und der Strahlungsdetektor 4 ein Festkörperbildsensor.

Auf einer Grundplatte 7 ist ein u-förmiges Gestell 8 befestigt. Auf der Grundplatte 7 und mittig des Mittelteils des u-förmigen Gestells 8 ist der Drehtisch 1 angeordnet (Darstellung in der Fig. 1). Der Durchmesser des Drehtisches 1 ist kleiner als die Länge des Mittelteils des u-förmigen Gestells 8.

Das Mittelteil des u-förmigen Gestells 8 weist weiterhin eine Führung auf, in der der Triangulationssensor 2 korrespondierend angeordnet ist. Der Triangulationssensor 2 ist damit über dem Drehtisch 1 mittels einen entsprechenden Antrieb bewegbar. Der Antrieb ist in dem Mittelteil integriert. Der Triangulationssensor 2 ist weiterhin so an dem Mittelteil plazierte, dass die Strahlung 9 der Strahlungsquelle 3 senkrecht auf den Drehtisch 1 fällt.

Der Mittelpunkt des Drehtisches 1 wird bestimmt und bildet den Ursprung in einem Polarkoordinatensystem.

Bei der Erstinbetriebnahme oder einer Lageveränderung der Vorrichtung wird dieses Koordinatensystem für die zu messenden Körper erstellt.

Zur Ermittlung des Koordinatensystems besitzt der Drehtisch 1 mehrere parallel zueinander verlaufende Linien (Fig. 2 und 3) oder ein Meßkörper wird auf den Drehtisch 1 plazierte. Dieser weist entweder parallel zueinander verlaufende und geradlinig ausgebildete Körperkanten oder Linien zur Bestimmung eines Koordinatensystems (ähnlich der Darstellungen in den Fig. 2 und 3) auf. Die Linien oder Körperkanten können sich beliebig auf dem Drehtisch befinden. Der Abstand der geradlinig verlaufenden Linien oder Körperkanten ist bekannt. Der Drehtisch vollführt in der Phase der Ermittlung des Koordinatensystems eine Dre-

hung. Dabei werden die Linien g1 und g2 im Meßfleck C und D des Triangulationssensors 2 erfaßt. Gleichzeitig werden die Winkel der jeweils auf einer Linie g1 oder g2 liegenden Meßflecke ermittelt. Durch den bekannten Abstand  $d = AB$  der parallel verlaufenden Linien g1 und g2 oder Körperkanten, den gemessenen Winkeln  $\alpha$  und  $\beta$  und den rechten Winkel zwischen der Gerade MB und den Linien g1 und g2 ist über trigonometrische Berechnungen der Radius R1 und damit der Abstand zwischen dem Triangulationssensor 2 und dem Mittelpunkt des Drehtisches 1 gegeben (Darstellung in der Fig. 3).

$$R1 = \frac{d}{\cos \beta/2 - \cos \alpha/2}$$

Durch eine Verschiebung c des Triangulationssensors 2 oder des Drehtisches 1 und nochmaliger Rotation und Messung der Winkel  $\alpha$  und  $\beta$  wird der Abstand R2 analog dem R1 bestimmt (Darstellung in der Fig. 4). Die Richtung der Verschiebung c definiert gleichzeitig eine Richtung des Koordinatensystems. Über den Satz des Pythagoras werden die Koordinaten x und y des Koordinatensystems ermittelt. Dadurch wird der Abstand des Mittelpunkts des Drehtisches 1 von der aktuellen Position des Triangulationssensors 2 x und y+c bestimmt. Damit sind die Meßpunkte des Körpers maßlich bestimmbar.

$$y = \frac{R2^2 - R1^2 - c^2}{2 \cdot c}$$

$$x = \sqrt{R1^2 - \left[ \frac{R2^2 - R1^2 - c^2}{2 \cdot c} \right]^2}$$

Zur Unterstützung der Messung können mehrere Kreise mit unterschiedlichen Radien auf dem Drehtisch 1 angeordnet sein. Diese erleichtern zum einen die maßliche Zuordnung und zum anderen

die Positionierung des Körpers auf dem Drehtisch 1.

Der Meßkörper ist als Folie mit mehreren kreisförmigen Linien realisierbar. Dieser kann auf dem Drehtisch 1 verbleiben und dient gleichzeitig als Justierhilfe für die Körper. Dazu ist die Folie mit der Oberfläche des Drehtisches 1 verklebt. Die Antriebe des Drehtisches 1 und des Triangulationssensors 2 sind mit einem Computer als Steuerung verbunden. Der Computer dient gleichzeitig der Auswertung der Meßergebnisse. Dazu sind die Strahlungsquelle 3 und der Strahlungsdetektor 4 des Triangulationssensors 2 mit diesem zusammengeschaltet.

Bei Körpern mit einem hohen Streuverhalten in Form von Mehrfachreflexionen gegenüber der Strahlung 9 der Strahlungsquelle 3 wird dieser mit Auflagekörpern zumindest an den interessierenden Meßbereichen versehen. Diese bestehen aus einem Stoff, der nur geringe Mehrfachreflexionen zuläßt, und dessen Dicke bekannt ist. Derartige Auflagekörper bestehen z.B. aus Keramik. Damit sind auch Oberflächenkonturen von Körpern mit glänzenden Oberflächen weitestgehend ohne Meßfehler meßbar.

In weiteren Ausführungsformen des Ausführungsbeispiels besitzt der Drehtisch 1 entweder mehrere Anschläge oder in ihm ist wenigstens ein Magnet integriert. Vorteilhafterweise sind die Anschläge auf dem Drehtisch 1 verfahrbar, so dass Körper unterschiedlicher Geometrie einfach weitestgehend mittig auf dem Drehtisch 1 platzierbar sind.

In einer weiteren Ausführungsform ist das u-förmige Gestell 8 L-förmig ausgebildet und so gegenüber dem Drehtisch 1 angeordnet, dass sich ein Schenkel parallel über dem Drehtisch 1 befindet. Dieser Schenkel ist die Führung für den Triangulationssensor 2 (Darstellung in der Fig. 2).

## Patentansprüche

1. Vorrichtung zur berührungslosen dreidimensionalen Vermessung von Körpern bestehend aus einem Drehtisch zur Aufnahme des Körpers und einem optischen Triangulationssensor mit mindestens einer Strahlungsquelle, einem Strahlungsdetektor und einer Optik, dadurch gekennzeichnet, dass der Triangulationssensor (2) über dem Drehtisch (1) in einer Achse mittels eines Antriebs bewegbar so angeordnet ist, dass die Strahlung der Strahlungsquelle auf den Körper trifft, dass sich der Körper in einem durch zum einen wenigstens zwei parallel zueinander verlaufenden Linien ( $g_1$ ,  $g_2$ ) oder Körperkanten mit bekannten Abstand ( $d$ ) und Winkelbestimmungen ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) des Drehtisches (1) und zum anderen wenigstens zwei Meßpunkte mit bekannten Abstand ( $R_1$ ,  $R_2$ ) zum Mittelpunkt ( $M$ ) und bekannter Verschiebung ( $c$ ) des Triangulationssensors (2) zwischen den Meßpunkten bestimmten Koordinatensystem auf dem Drehtisch (1) befindet und dass der Drehtisch (1), der Antrieb und der Triangulationssensor (2) mit einer Datenverarbeitungs- und Steuereinheit verbunden sind.

2. Vorrichtung nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlungsquelle (3) des Triangulationssensors (2) so angeordnet ist, dass die Strahlung der Strahlungsquelle (3) senkrecht auf die Oberfläche des Drehtisches (1) trifft.

3. Vorrichtung nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Triangulationssensor (2) über ein Dreh- oder Kugelgelenk mit einem Antriebssystem über dem Drehtisch (1) in einer Achse mittels des Antriebs bewegbar angeordnet ist und dass mindestens ein den Winkel zwischen der Strahlung (9) und dem Werkstück direkt und/oder indirekt messender Sensor vorhanden ist.



4. Vorrichtung nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens Bereiche der Oberfläche des eine hohes Streuverhalten gegenüber der Strahlung (9) der Strahlungsquelle (3) in Form von Mehrfachreflexionen aufweisenden Körpers mit einem Auflagekörper bekannter Dicke und geringen Streuverhaltens fest und/oder lösbar versehen sind.

5. Vorrichtung nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die parallel verlaufende Linien oder Körperkanten eines Meßkörpers auf dem Drehtisch (1) geradlinig oder kreisförmig angeordnet sind.

6. Vorrichtung nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sich nur während der Bestimmung eines Koordinatensystems ein Meßkörper mit wenigstens zwei Kanten oder ein Meßkörper mit wenigstens zwei Linien auf dem Drehtisch (1) befindet.

7. Vorrichtung nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Drehtisch (1) mindestens zwei mit einem Abstand zueinander angeordnete Anschläge für den Körper besitzt.

8. Vorrichtung nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in den Drehtisch (1) mindestens ein Magnet integriert ist.

4

### Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur berührungslosen dreidimensionalen Vermessung von Körpern bestehend aus einem Drehtisch zur Aufnahme des Körpers und einem optischen Triangulationssensor.

Die Vorrichtung zeichnet sich durch ihre besonders einfache Realisierung aus. Damit ist diese vorteilhafterweise auch an Produktionsstätten spezieller Werkstücke einsetzbar. Der einfache Aufbau ist weiterhin auch sehr ökonomisch, so dass ein breiter Anwendungsbereich gegeben ist.

Bevor die Messungen der Werkstücke erfolgt, wird über eine erste Messung ein Koordinatensystem für eine maßliche Zuordnung der Geometrie der Werkstücke ermittelt. Dazu werden maßlich bekannte Kanten oder Linien auf dem Drehtisch beliebig plaziert und während einer Drehung über den Triangulationssensor ausgemessen.

Damit zeichnet sich die erfindungsgemäße Vorrichtung durch ihren minimalen Aufbau aus. Durch die geringe Anzahl der notwendigen Bewegungen in Form nur einer translatorischen des Triangulationssensors und einer rotatorischen des Drehtisches zur Bestimmung des Profils eines Körpers wird ein minimaler Meßfehler erreicht.



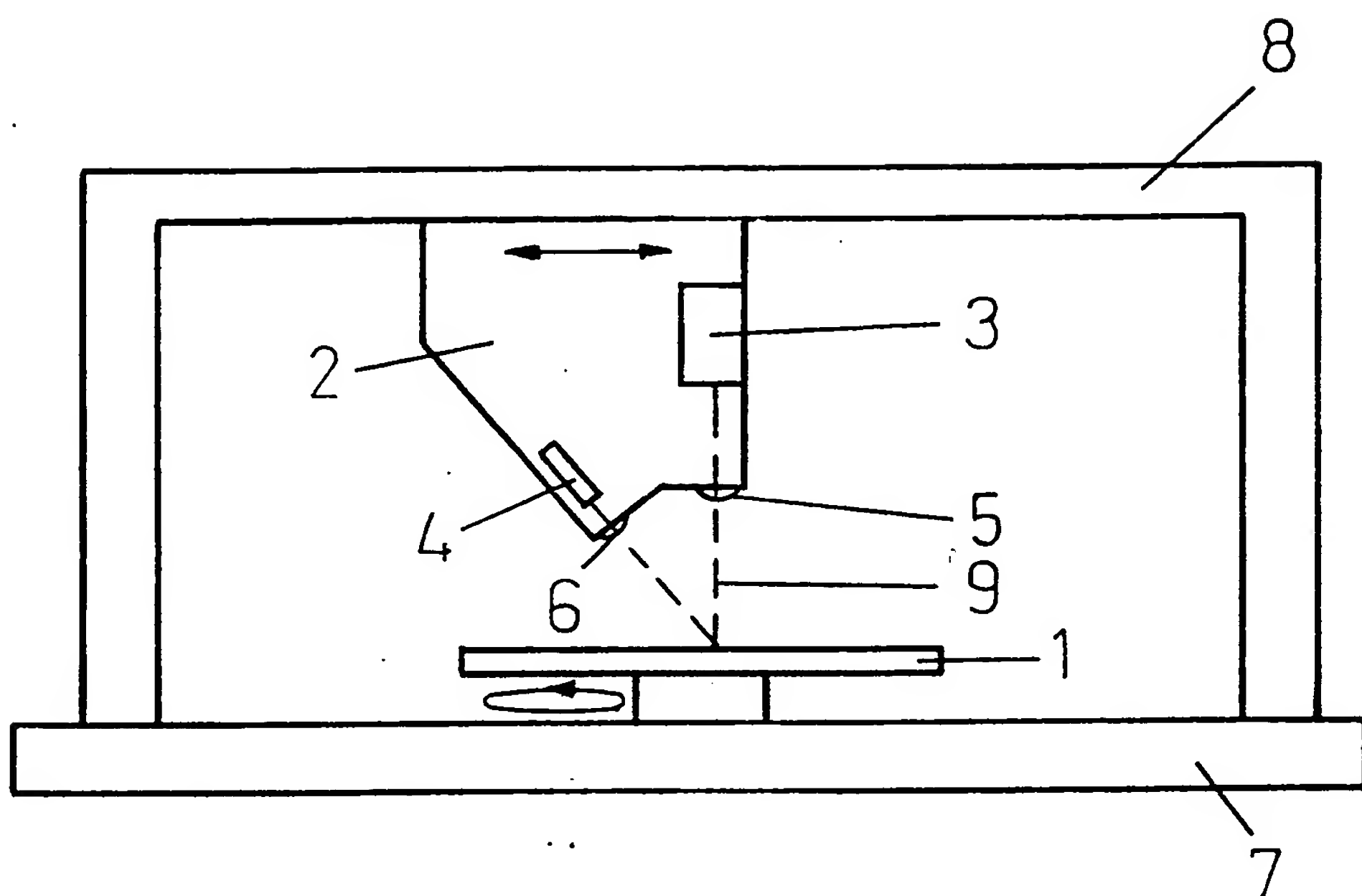


Fig. 1

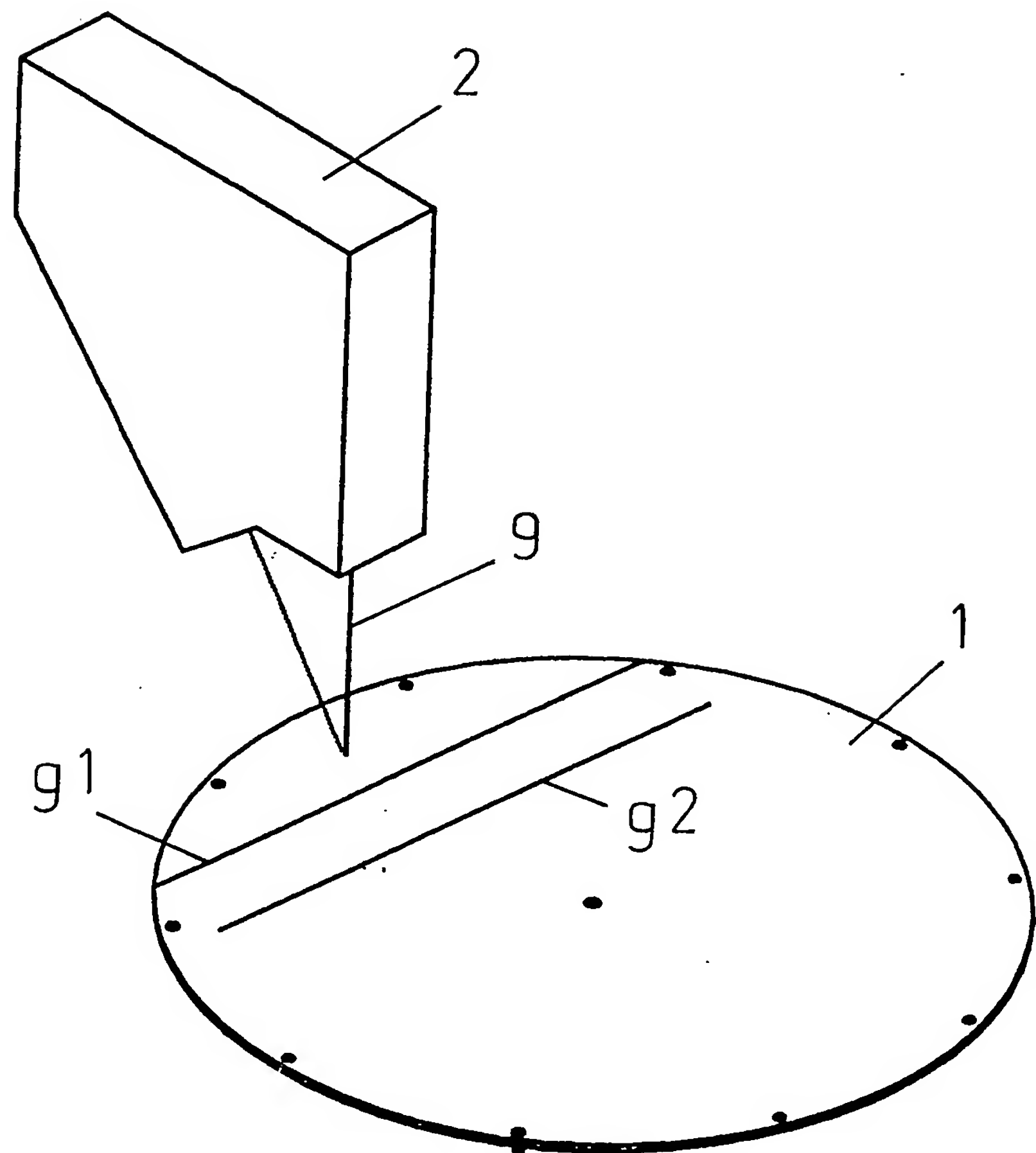


Fig. 2

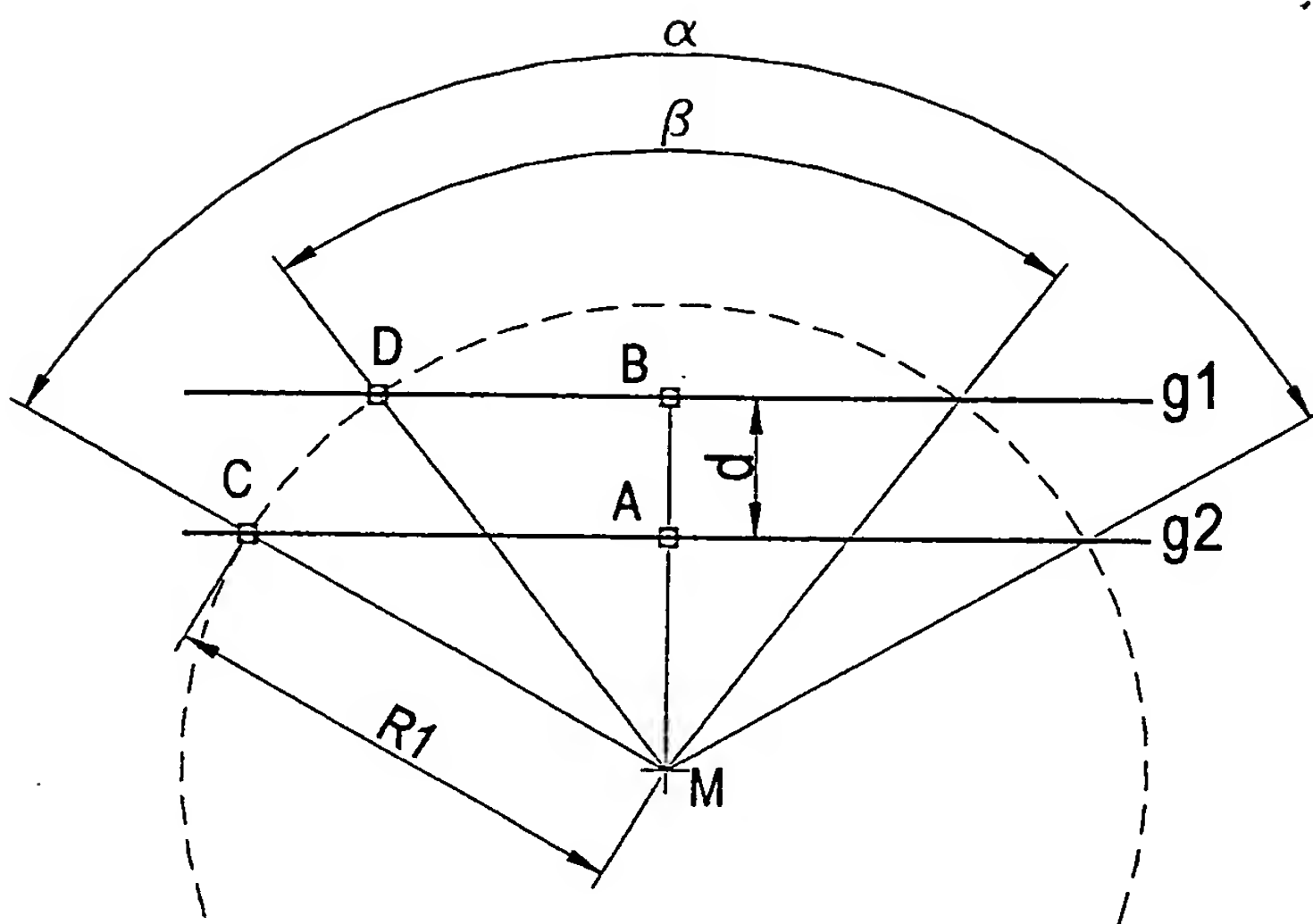


Fig. 3

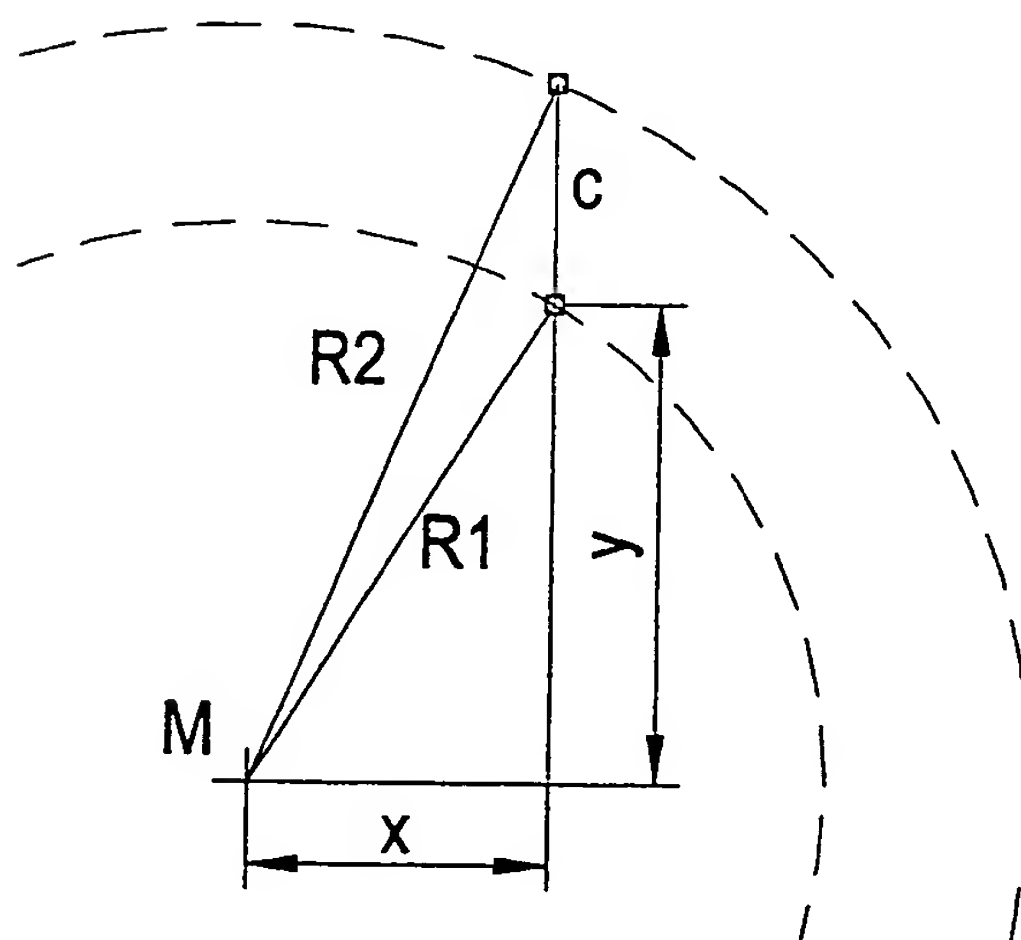


Fig. 4

